民勤荒漠植物叶片水分吸收性状研究

王 飞[1,2]， 郭树江[1,3]， 韩福贵[1,2]， 王方琳[1,2]， 张卫星[1]， 张裕年[1,2]

（1. 甘肃省治沙研究所，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室（培育基地），甘肃 武威 733000；3. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站，甘肃 民勤 733300）

摘 要：在水分输入以小量级降水和凝结水为主导的干旱区，植物叶片吸收水分策略具有尤为重要的生态意义。以民勤地区20种荒漠植物为研究对象，测定叶片单位面积吸水量（LWUC）、含水量增加率（RW）、水分饱和亏（WSD）、比叶面积（SLA）、干物质含量（LDMC），分析植物各叶片性状的分布规律及其相互关系，并比较不同功能群植物叶片水分吸收性状的变异特征。结果表明：(1) 叶片可以吸收水分，具有利用小量级降水的能力；叶片性状存在较大的种间差异。(2) 叶片LWUC与LDMC呈极显著负相关（$P<0.01$），RW与WSD呈极显著正相关（$P<0.01$）。(3) 不同生长型植物叶片LWUC、RW、WSD差异不显著（$P>0.05$）。(4) 不同质地植物叶片LWUC差异极显著（$P<0.01$），其中，肉质多汁类型植物显著（$P<0.05$）高于草质、革质类型植物，肉质多汁和叶片退化类型植物差异不显著（$P>0.05$）。(5) 不同叶面性状植物叶片LWUC差异不显著（$P>0.05$），但覆毛类型植物叶片RW、WSD极显著（$P<0.01$）高于光滑叶面平均值。总之，本研究可以加深对荒漠生态系统不同功能型植物利用水资源方式和策略的理解，增强对荒漠植物生态适应对策和荒漠植被格局变化的认识，并为其保护和恢复提供科学依据。

关键词：荒漠植物；小量级降水；叶片水分吸收性状；民勤

叶片是植物-环境进行物质、能量及水气交换的主要器官，对环境变化敏感、可塑性强，能够影响植物的行为和功能[1]。叶片性状作为植物重要特性之一，能够直接反映出植物获取与利用资源的能力以及适应环境变化而形成的生存对策[2]，具有非常重要的生态学意义[3]。在干旱区，经常会发生相对稳定、可靠的小量级降水或隐匿降水，比如凝结水、雾等，通常只停留在植物地上部分表面或表层土壤，几乎不太可能入渗进入植物根区被土壤根系吸收利用[4-6]。众多研究结果表明[7-11]，叶片吸水是植物利用小量降水或隐匿降水的重要机制。Monteith等[12-13]认为，叶片吸水是由于植物叶片湿润时某些表皮的渗透力增加所导致。Schreiber等[14]发现，叶片吸水是相对湿度增加后的一种自然反应。Yates等[15]认为，植物叶片吸收水分的驱动力是叶片与叶表水分之间的水势差，而更多的研究者则倾向于土壤-植物-大气连续体即SPAC系统的水势梯度的倒转变化导致叶片吸水和负径流的发生[16-18]。植物通过叶片捕获来自大气的水资源输入，改善自身水分状况，对植物生长发育过程具有重要的作用[19-20]。不同植物叶片能够直接吸收水分[11,18,21-22]，特别是在干旱缺水环境中的植物[19]。但是，目前关于中国荒漠地区植物叶片吸水现象及特征方面的研究还相对较少。

民勤地区位于石羊河流域下游，三面被沙漠包围，是阻挡风沙进入我国内陆的一道绿色屏障，也是武威盆地的主要天然屏障，该区属于干旱的大陆性气候区，降水少且变率大，蒸发强烈[23]，地表径流逐年锐减，地下水位下降，风蚀严重，生态脆弱，是研究荒漠生态的热点地区。根据民勤国家野外科学观测研究站多年观测统计，量级不大于1 mm和不大于5 mm的降水分别占到总降水频次的41.93%和75.90%，单次平均降水量只有3.24 mm（2013—2015年），因此，对民勤荒漠植物叶片吸收水分能力以及相关叶片性状的研究十分必要，从而增强对荒漠生态系统中不同功能型植物水分利用方式和策略的认识。

目前，有关该地区不同荒漠植物叶片性状的研

收稿日期：2019－12－09； **修订日期：**2020－06－22
基金项目：国家青年科学基金项目（31700339）；国家地区基金项目（31760238，31960334，31860116）；国家面上基金项目（41671528）；中国科学院西部之光项目资助
作者简介：王飞（1987－），女，助理研究员，硕士，研究方向为荒漠化防治. E-mail: zmffei@126.com
通讯作者：郭树江. E-mail: shujguo@126.com

究鲜有报道。因此,本文以民勤20种荒漠植物为研究对象,对叶片水分吸收性状包括单位面积吸水量(LWUC)、含水量增加率(RW)、水分饱和亏(WSD)、比叶面积(SLA)、干物质含量(LDMC)进行测定,比较不同荒漠植物叶片水分吸收性状间的差异,探究各性状之间的关系,分析不同功能群间相似性与差异性,揭示该地区植物叶片吸水能力以及植物生理适应策略,对该地区植被重建与恢复具有重要的理论和实践意义。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

研究区民勤绿洲-荒漠过渡带,位于巴丹吉林沙漠东南缘,属于典型的干旱荒漠地区,地理位置在38°34′~39°38′N,102°53′~102°58′E,海拔高度在1376~1383 m。该区属于温带大陆性干旱气候,降水量少,多年平均降水量115.2 mm,集中于7—9月;多年平均蒸发量2419.6 mm,是降水量的21倍;多年平均气温为7.7 ℃;热量资源充足,日照时间长,年平均日照时数达2832.1 h;风大沙多,年平均风速2.5 $m\cdot s^{-1}$;土壤类型以风沙土为主;植被主要有梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)、多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、黄花矶松(*Limoniumau- reum*)、芦苇(*Phragmites australis*)、雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)等。

1.2　研究方法

1.2.1　试验材料　选取民勤20种荒漠植物(表1),于2019年7—8月降水过后第4 d或第5 d的叶片/同化枝作为试验材料。由于灌木、多年生草本等植物的年龄很难确定,因此,取样时忽略植物的年龄因素,每种植物选择生长状况、地径、冠幅基本一致的植株。

1.2.2　测定方法　参照Limm等[21]的方法进行植物叶片吸水试验,具体方法如下:首先,用剪刀将叶片及其着生小枝剪下,切口处涂上凝固胶并装入塑封袋,然后放进保鲜箱迅速带回实验室称重(m_1,g),在

表1　植物名录及功能群分类

Tab. 1　List of the species and classification of functional groups

序号	植物种	植物生长型	叶质地性状	叶面性状
1	梭梭(*Haloxylon ammodendron*)	灌木	叶片退化	光滑
2	沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)	灌木	叶片退化	光滑
3	唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)	灌木	肉质多汁	覆毛
4	沙蒿(*Artemisia desertorum*)	灌木	草质	光滑
5	芦苇(*Phragmites australis*)	多年生草本	革质	光滑
6	霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)	灌木	肉质多汁	光滑
7	沙木蓼(*Atraphaxis frutescens*)	灌木	革质	光滑
8	柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)	灌木	草质	覆毛
9	花棒(*Hedysarum scoparium*)	灌木	叶片退化	光滑
10	多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)	灌木	革质	光滑
11	花花柴(*Karelinia caspia*)	多年生草本	肉质多汁	覆毛
12	沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)	灌木	肉质多汁	覆毛
13	砂引草(*Tournefortia sibirica*)	多年生草本	草质	覆毛
14	甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)	多年生草本	革质	覆毛
15	猪毛菜(*Salsola collina*)	一年生草本	肉质多汁	覆毛
16	盐生草(*Halogeton glomeratus*)	一年生草本	肉质多汁	光滑
17	沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)	一年生草本	革质	覆毛
18	雾冰藜(*Bassia dasyphylla*)	一年生草本	肉质多汁	覆毛
19	碟果虫实(*Corispermum patelliforme*)	一年生草本	草质	覆毛
20	苦豆子(*Sophora alopecuroides*)	多年生草本	草质	覆毛

黑暗中完全浸没于去离子水中直到叶片饱和，取出并用干净纱布将叶片表面的水分吸取后称重(m_2，g)，随后在空气中放置干燥失水10 min后称重(m_3，g)，再次放入去离子水中1 s后立即取出，用纱布吸取附着在表面的水分后称重(m_4，g)。做完吸水试验的材料放入叶面积仪(Yaxin1241)中测定吸水面积(S，cm^2)。最后将叶片放入铝盒中，在65 ℃烘箱内烘干至恒重，取出后称重(m_5，g)。每1物种5个重复。

叶片单位面积吸水量(leaf water uptake content，LWUC，$mg \cdot cm^{-2}$)的计算公式为：

$$LWUC = 1000 \times [(m_2 - m_1) - (m_4 - m_3)]/S$$

叶片含水量增加率(percentage increase in leaf water content，RW，%)的计算公式为：

$$RW = [(m_2 - m_1) - (m_4 - m_3)]/(m_1 - m_5) \times 100$$

叶片水分饱和亏(leaf water saturation deficit，WSD，%)的计算公式为：

$$WSD = 100 - (m_1 - m_5)/(m_2 - m_5) \times 100$$

比叶面积(specific leaf area，SLA，$cm^2 \cdot mg^{-1}$)的计算公式为：

$$SLA = S/(1000 \times m_5)$$

叶片干物质含量(leaf dry material content，LDMC，%)的计算公式为：

$$LDMC = m_5/m_2 \times 100$$

1.3 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2003对试验数据进行统计并绘图。利用SPSS 19.0软件对各叶片性状参数间进行Pearson相关性检验，同时用单因素方差分析(One-way ANVOA)比较分析不同功能群植物叶片性状之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 叶片性状的分布规律

共调查了20个物种，隶属8科20属，除含水量增加率，民勤20种荒漠植物叶片水分吸收性状差异显著($P < 0.05$)。由表2可知，所调查的荒漠植物叶片性状变异范围较大，变异系数为27.74%～59.94%。民勤20种植物叶片LWUC平均值为(14.49±1.94)$mg \cdot cm^{-2}$，变异系数为59.94%，最大的前3种植物依次是：霸王[(38.00±8.68)$mg \cdot cm^{-2}$]、雾冰藜[(27.47±2.54)$mg \cdot cm^{-2}$]、猪毛菜[(23.01±2.13)$mg \cdot cm^{-2}$]；而最小的前3种植物依次是：芦苇[(1.29±0.43)$mg \cdot cm^{-2}$]、苦豆子[(4.03±0.38)$mg \cdot cm^{-2}$]、沙木蓼[(4.78±0.61)$mg \cdot cm^{-2}$]。叶片RW平均值为(22.13±1.68)%，变异系数为33.83%，最大的前3种植物依次是：砂引草[(37.82±2.72)%]、沙冬青[(32.53±4.11)%]、甘草[(30.87±2.41)%]；而最小的前3种植物依次是：芦苇[(6.54±1.90)%]、多枝柽柳[(13.85±1.92)%]、花棒[(15.31±1.87)%]。叶片WSD平均值为(19.08±1.18)%，变异系数为27.74%，最大的前3种植物依次是：砂引草((29.03±1.26)%)、甘草[(26.27±1.15)%]、沙冬青[(25.82±3.10)%]；而最小的前3种植物依次是：芦苇[(6.70±1.68)%]、花棒[(14.02±1.35)%]、沙拐枣[(14.17±2.13)%]。叶片SLA平均值为(0.057±0.006)$cm^2 \cdot mg^{-1}$，变异系数为46.07%，最大的前3种植物依次是：盐生草[(0.095±0.015)$cm^2 \cdot mg^{-1}$]、沙米[(0.093±0.007)$cm^2 \cdot mg^{-1}$]、花花柴[(0.092±0.003)$cm^2 \cdot mg^{-1}$]；而最小的前3种植物依次是：沙冬青[(0.023±0.001)$cm^2 \cdot mg^{-1}$]、花棒[(0.024±0.002)$cm^2 \cdot mg^{-1}$]、沙拐枣[(0.026±0.001)$cm^2 \cdot mg^{-1}$]。叶片LDMC平均值为(23.96±2.21)%，变异系数为41.27%，最大的前3种植物依次是：芦苇[(39.57±0.47)%)、沙冬青((35.99±0.33)%]、苦豆子[(35.42±0.21)%]；而最小的前3种植物依次是：盐生草((9.34±1.08)%)、猪毛菜((11.71±0.87)%)、雾冰藜[(11.78±1.90)%]。

2.2 叶片性状的相关性分析

由表3可知，民勤荒漠植物叶片LWUC与LD-

表2 民勤荒漠植物叶片性状特征

Tab. 2 Leaf traits of desert plants in Minqin

叶性状	平均值	最大值	最小值	中值	标准差SD	变异系数Cv/%
LWUC /($mg \cdot cm^{-2}$)	14.49±1.94	38.00	1.29	13.82	8.69	59.94
RW/%	22.13±1.68	37.82	6.54	21.56	7.49	33.83
WSD /%	19.08±1.18	29.03	6.70	18.74	5.29	27.74
SLA/ ($cm^2 \cdot mg^{-1}$)	0.057±0.006	0.095	0.023	0.060	0.026	46.07
LDMC/%	23.96±2.21	39.57	9.34	23.22	9.89	41.27

表3　民勤荒漠植物叶片性状相关系数

Tab. 3　Correlation coefficient between leaf traits of desert plants in Minqin

性状	LWUC	RW	WSD	SLA	LDMC
LWUC	1.000				
RW	0.302	1.000			
WSD	0.218	0.977**	1.000		
SLA	−0.240	0.330	0.284	1.000	
LDMC	−0.704**	−0.359	−0.256	−0.352	1.000

注：**表示在0.01水平上显著相关；*表示在0.05水平上显著相关。

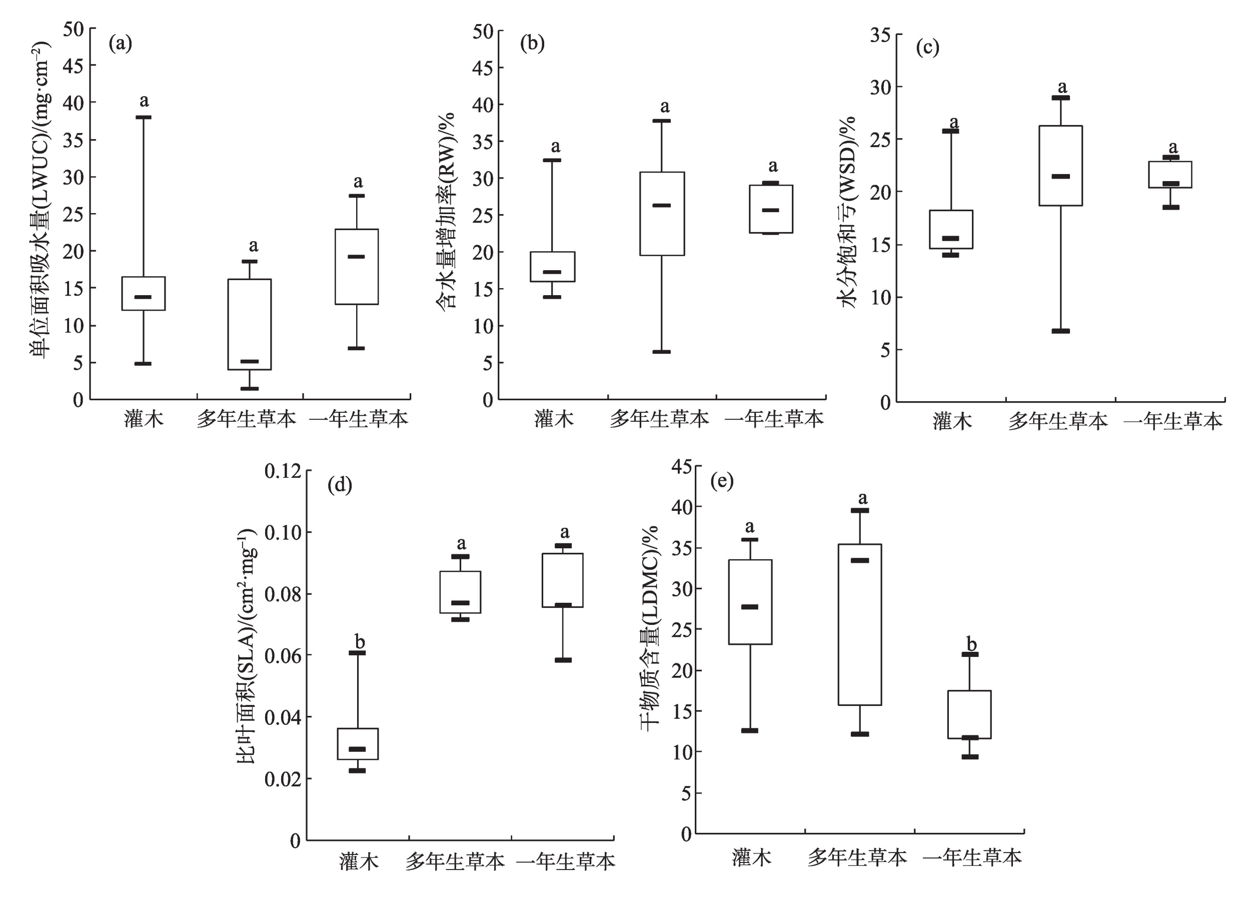
MC呈极显著负相关($P<0.01$)，与SLA呈负相关但不显著($P>0.05$)，与RW、WSD呈正相关均不显著($P>0.05$)；叶片RW与WSD呈极显著正相关($P<0.01$)，与SLA、LDMC分别呈正、负相关但不显著($P>0.05$)；WSD与SLA、LDMC分别呈正、负相关但不显著($P>0.05$)；SLA与LDMC呈负相关但不显著($P>0.05$)。

2.3　不同生长型植物的叶片吸水能力

由图1可知，不同生长型植物叶片LWUC、RW、WSD平均值差异不显著($P>0.05$)；多年生草本、一年生草本植物叶片SLA平均值显著($P<0.05$)高于灌木，多年生草本与一年生草本差异不显著($P>0.05$)；灌木、多年生草本植物叶片LDMC平均值显著($P<0.05$)大于一年生草本，灌木与多年生草本差异不显著($P>0.05$)。

2.4　不同叶片质地植物的叶片吸水能力

由图2可知，不同质地植物叶片LWUC平均值差异极显著($P<0.01$)，其中，肉质多汁类型植物显著($P<0.05$)高于草质、革质类型植物，肉质多汁和叶片退化类型植物间差异不显著($P>0.05$)，草质类型植物分别与革质、叶片退化类型植物差异不显著($P>0.05$)，叶片退化类型植物显著($P<0.05$)高于革质类型植物；不同质地植物叶片RW、WSD平均值差异不显著($P>0.05$)，其中，草质类型植物叶片显著($P<0.05$)高于叶片退化类型植物；不同质地植物叶片SLA平均值差异不显著($P>0.05$)，其中，革质类型植物显著($P<0.05$)高 于叶片退化类型植物；不同质地植物叶片LDMC平均值差异显著($P<$



注：不同小写字母表示不同生长型间差异显著($P<0.05$)。下同。

图1　不同生长型植物叶片性状

Fig. 1　Leaf traits of different plant growth forms

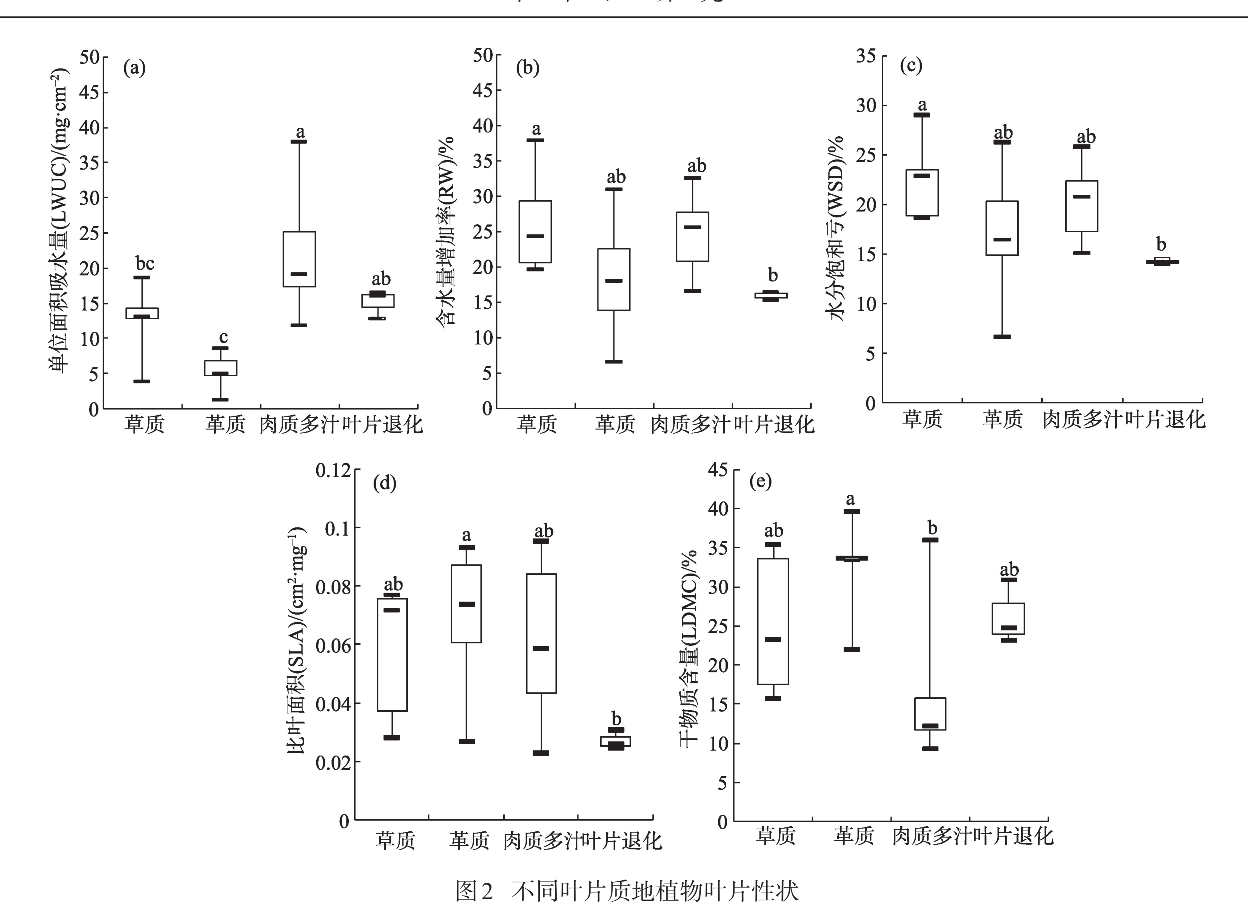


图2 不同叶片质地植物叶片性状

Fig. 2 Leaf traits of plant with different leaf textures

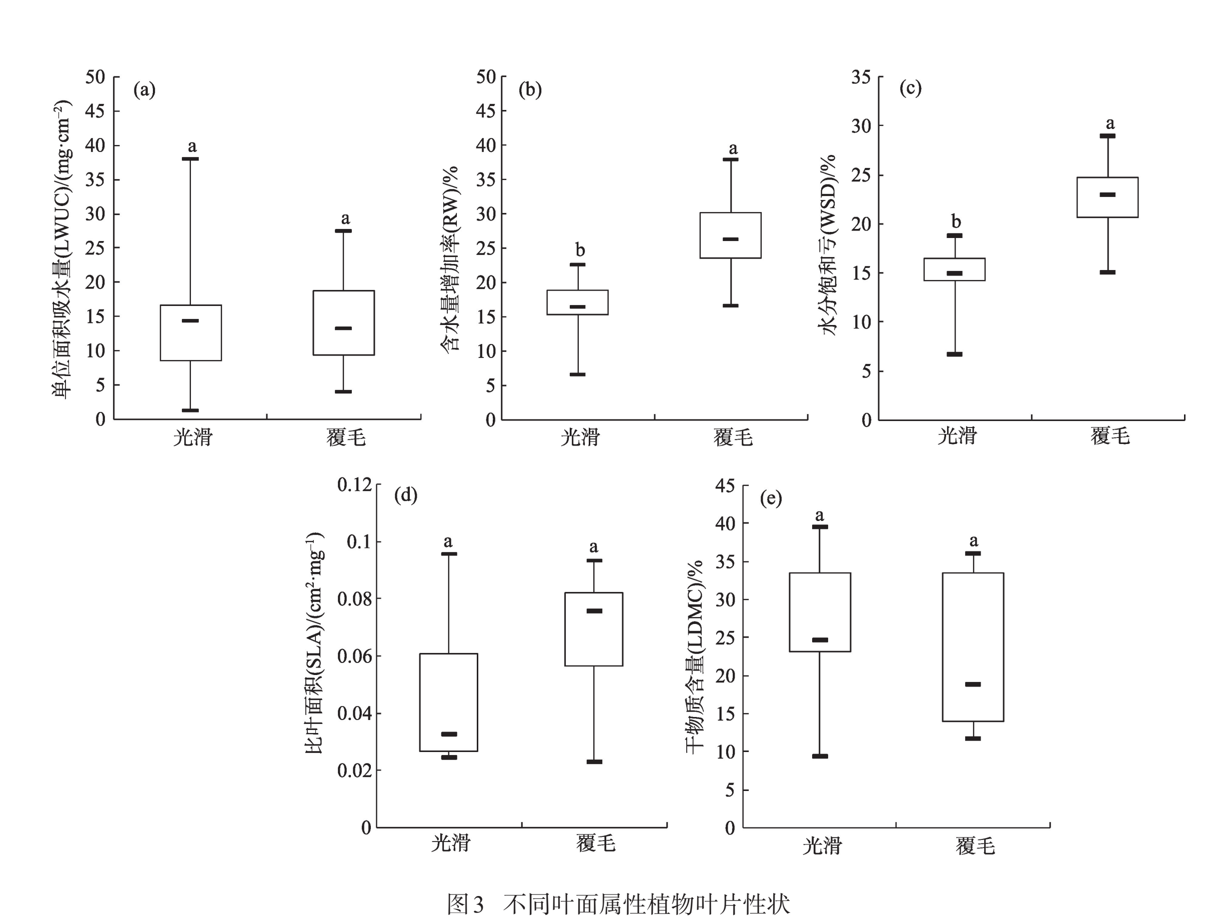


图3 不同叶面属性植物叶片性状

Fig. 3 Leaf traits of plant with different leaf surface characters

0.05),其中,革质类型植物叶片显著($P<0.05$)高于肉质多汁类型植物。

2.5　不同叶面性状植物的叶片吸水能力

由图3可知,不同叶面性状植物叶片LWUC平均值差异不显著($P>0.05$),光滑、覆毛类型植物叶片LWUC平均值分别为(14.64±3.51) mg·cm^{-2}、(14.37±2.22)mg·cm^{-2};覆毛类型植物叶片RW、WSD平均值极显著($P<0.01$)高于光滑叶面植物;2种叶面性状植物叶片SLA、LDMC平均值差异不显著($P>0.05$)。

3　讨　论

在干旱半干旱地区,叶片吸收水分策略对于植物的存活、生长以及生态系统的恢复与重建都具有非常重要的意义[20]。与前人研究结果一致[11,21,24],本研究中民勤荒漠植物叶片都具有吸收水分的能力,且叶片性状存在较大的种间差异,其中叶片LWUC变异系数达到59.94%。另外,还发现,民勤荒漠植物叶片性状指标参数平均值与其他地区研究结果[11,25-26]相比存在一定差异,原因可能与植物自身遗传特性[27]以及长期适应生境环境有关,其次物种选择以及测定季节也会影响研究结果。

叶片性状之间关系十分密切,植物通过调整和平衡内部各种功能形成了一系列性状组合以适应特定生境环境[28]。环境条件对植物叶片性状的影响很大,所以不同地域的植物叶片性状间关系会存在较大差异,本研究中,民勤荒漠绿洲过渡带荒漠植物叶片LWUC与LDMC呈极显著($P<0.01$)负相关,RW与WSD呈极显著($P<0.01$)正相关,与郑新军等[11,25]的研究结果不尽相同,再次证明了这一点。本研究结果表明,不同生长型植物叶片LWUC与RW随着枝干木质化程度的降低和生活史的变短逐渐升高的趋势,主要是因为一年生草本植物根系越浅越容易受到来自于土壤缺水的干旱胁迫,很难利用深层土壤水和潜水,在权衡地上和地下吸收水分策略时,更倾向于地上吸收水分策略。

不同功能群植物对环境的响应或生态系统功能存在差异[29]。本文根据具体情况和需要,将民勤20种主要荒漠植物划分为灌木、多年生草本、一年生草本,研究发现:不同生长型荒漠植物叶片LWUC、RW差异不显著($P>0.05$),但一年生草本植物叶片LWUC高于灌木、多年生草本,这与陈林等[25]的研究结果有所不同,这主要是因为灌木和多年生草本根系发达,对土壤水分的吸收能力和植物茎叶含水量都高于一年生草本,从而减轻干旱胁迫对其自身的影响。这就说明,叶片吸收水分策略对于荒漠植物,特别是一年生草本植物最大限度地利用有限的水资源渡过持续的干旱并完成生活史具有重要的意义。本研究中,不同质地植物叶片LWUC差异极显著($P<0.01$),其中,肉质多汁和叶片退化类型植物高于草质、革质类型植物,研究结果与陈林等[25]的研究结果一致。植物叶片表面的绒毛可以减少叶片受到阳光灼射以及盐分、食草者的伤害,还能转化为吸收毛先后通过物理、化学机制迅速吸收水分,截留水滴并延长叶片湿润时间,使植物叶片水分状况得到恢复[30-31]。虽然不同叶面性状类型的植物叶片LWUC差异不显著,但是覆毛类型植物叶片RW极显著($P<0.01$)高于光滑叶面植物平均值,这就说明叶片覆毛有利于植物叶片吸收水分。这些差异通常被解释为植物遗传特性或适应环境的结果[32-33]。

在同一自然环境中,不同荒漠植物适应干旱环境的策略不同。另外,植物地上、地下部分吸收水分策略存在权衡[7],不同水分条件也会影响植物叶片吸水能力的大小[18]。植物叶片吸水能力同时受到植物体含水量以及叶片特征的影响。本试验中,不同荒漠植物生长环境相同,突出了植物叶片本身对水分吸收状况,而环境条件、植物体含水量以及叶片结构等对叶片吸水的影响有待进一步研究。

4　结　论

(1) 民勤荒漠植物叶片都具有吸水能力,从而提高其在干旱环境中的适应能力。

(2) 叶片性状存在较大的种间差异;叶片单位面积吸水量与干物质含量呈极显著负相关($P<0.01$),含水量增加率与饱和亏呈极显著正相关($P<0.01$)。

(3) 生长型对植物叶片吸水能力影响不显著,但一年生草本植物叶片吸水能力较强;叶片质地、叶面属性对叶片吸水能力影响显著。

参考文献(References):

[1]　Wright I J, Rrich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf eco-

nomics spectrum[J]. Nature, 2004, 428: 821–827.

[2] 宝乐, 刘艳红. 东灵山地区不同森林群落叶功能性状比较[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3692–3703. [Bao Le, Liu Yanhong. Comparison of leaf functional traits in different forest communities in Mt. Dongling of Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3692–3703.]

[3] 张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 844–852. [Zhang Lin, Luo Tianxiang. Advances in ecological studies on leaf lifespan and associated leaf traits[J]. Acta Phytoecologyica Sinica, 2004, 28(6): 844–852.]

[4] Sala O E, Lauenroth W K, Parton W J. Long-termsoil-water dynamics in the shortgrass steppe[J]. Ecology, 1992, 73: 1175–1181.

[5] Loik M E, Breshears D D, Lauenroth W K, et al. Amulti-scale perspective of water pulses in dryland ecosystems: Climatology and ecohydrology of the Western USA[J]. Oecologia, 2004, 141: 269–281.

[6] Ogle K, Reynolds J F. Plant responses to precipitation in desert ecosystems: Integrating functional types, pulses, thresholds, and delays[J]. Oecologia, 2004, 141: 282–294.

[7] Boucher J F, Munson A D, Bernier P Y. Foliar absorption of dew influences shoot water potential and root growth in *Pinus strobus* seedlings[J]. Tree Physiology, 1995, 15: 819–823.

[8] Barradas V L, Glez-Medellín M G. Dew and its effect on two heliophile understorey species of a tropical dry deciduous forest in Mexico[J]. International Journal of Biometeorology, 1999, 43: 1–7.

[9] Ewing H A, Weathers K C, Templer P H, et al. Fog water and ecosystem function: Heterogeneity in a California Red-wood forest[J]. Ecosystems, 2009, 12: 417–433.

[10] 庄艳丽, 赵文智. 凝结水对温带荒漠一年生植物生态作用研究[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 526–532. [Zhuang Yanli, Zhao Wenzhi. Study on the ecological effects of condensed water on an annual plant in a temperate desert[J]. Arid Zone Research, 2009, 26(4): 526–532.]

[11] 郑新军, 李嵩, 李彦. 准噶尔盆地荒漠植物的叶片水分吸收策略[J]. 植物生态学报, 2011, 35(9): 893–905. [Zheng Xinjun, Li Shong, Li Yan. Leaf water uptake strategy of desert plants in the Junggar Basin, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2011, 35(9): 893–905.]

[12] Monteith J L. A reinterpretation of stomatal responses to humidity [J]. Plant Cell and Environment, 1995, 18: 357–364.

[13] Kerstiens G. Cuticular water permeability and its physiological significance[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47(305): 1813–1832.

[14] Schreiber L, Skrabs M, Hartmann K D. Effect of humidity on cuticular water permeability of isolated cuticular membranes and leaf disks[J]. Planta, 2001, 214: 274–282.

[15] Yates D J, Hutley L B. Foliar uptake of water by wet leaves of *Sloanea woollsii*, an Australian subtropical rainforest tree[J]. Australian Journal of Botany, 1995, 43: 157–167.

[16] Berry Z C, Hughes N M, Smith W K. Cloud immersion: An important water source for spruce and fir saplings in the southern Appalachian Mountains[J]. Oecologia, 2014, 174(2): 319–326.

[17] Gaff D F. Desiccation tolerant vascular plants of southern Africa [J]. Oecologia, 1977, 31(1): 95–109.

[18] Cassana F F, Eller C B, Oliveira R S. Effects of soil water availability on foliar water uptake of *Araucaria angustifolia*[J]. Plant and Soil, 2016, 399: 147–157.

[19] Breshears D D, McDowell N G, Dayem K E, et al. Foliar absorption of intercepted rainfall improves woody plant water status most during drought[J]. Ecology, 2008, 89(1): 41–47.

[20] Munné-Bosh S. Direct foliar absorption of rainfall water and its biological significance in dryland ecosystems [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74: 417–418.

[21] Limm E B, Simonin K A, Bothman A G, et al. Foliar water uptake: A common water acquisition strategy for plants of the redwood forest[J]. Oecologia, 2009, 161: 449–459.

[22] Schwerbrock R, Leuschner C. Foliar water uptake, a widespread phenomenon in temperate woodland ferns? [J]. Plant and Soil, 2017, 218: 555–563.

[23] 李世明, 程国栋, 李元红, 等. 河西走廊水资源合理利用与生态环境保护[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002: 76–249. [Li Shiming, Cheng Guodong, Li Yuanhong, et al. Rational Utilization of Water Resources and Ecological Environment Protection in Hexi Corridor [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002: 76– 249.]

[24] 郑玉龙, 冯玉龙. 西双版纳地区附生与非附生植物叶片对雾水的吸收[J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 977–981. [Zheng Yulong, Feng Yulong. Fog water absorption by the leaves of epiphytes and non-epiphytes in Xishuangbanna[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(6): 977–981.]

[25] 陈林, 杨新国, 宋乃平, 等. 干旱半干旱地区植物叶片水分吸收性状[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2013, 39(5): 565–574. [Chen Lin, Yang Xinguo, Song Naiping, et al. Leaf water uptake strategy of plants in the arid and semi-arid region of Ningxia [J]. Journal of Zhejiang University(Agriculture & Life Sciences Edition), 2013, 39(5): 565– 574.]

[26] 张晶, 左小安, 吕朋, 等. 科尔沁沙地典型草地植物功能性状及其相互关系[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 137–143. [Zhang Jing, Zuo Xiao'an, Lyu Peng, et al. Functional traits and interrelations of dominant plant species on typical grassland in the Horqin Sandy Land, China[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(1): 137–143.]

[27] 白文娟, 郑粉莉, 董莉丽, 等. 黄土高原水蚀风蚀交错带不同生境植物的叶性状[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2529–2540. [Bai Wenjuan, Zheng Fenli, Dong Lili, et al. Leaf traits of species in different habits in the water-wind erosion region of the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(10): 2529–2540.]

[28] 施宇, 温仲明, 龚时慧. 黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关

系及其变化[J]. 生态学报, 2011, 31(22): 6805-6814. [Shi Yu, Wen Zhongming, Gong Shihui. Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6805-6814.]

[29] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies[J]. New Phytologist, 1999, 143(1): 155-162.

[30] Hülskamp M, Schwab B. Trichomes[M]. New York: John Wiley &Sons, Ltd. , 2001.

[31] Ohrui T, Nobira H, Sakata Y, et al. Foliar trichome and aquaporin-aided water uptake in a drought-resistant epiphyte Tillandsia ionantha Planchon[J]. Planta, 2007, 227: 47-56.

[32] 李冰, 刘左军, 赵志刚, 等. 海拔对钝裂银莲花不同花色居群间繁殖特征及繁殖分配的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(1): 10-19. [Li Bing, Liu Zuojun, Zhao Zhigang, et al. Influence of altitude on reproductive traits and reproductive allocation of different colours in *Anemone obtusiloba* populations[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(1): 10-19.]

[33] 赵红洋, 李玉霖, 王新源, 等. 科尔沁沙地52种植物叶片性状变异特征研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1292-1298. [Zhao Hongyang, Li Yulin, Wang Xinyuan, et al. Variations in leaf traits of 52 plants in Horqin sand land[J]. Journal of Desert Research, 2010, 30(6): 1292-1298.]

Study on leaf water uptake traits of desert plants in Minqin

WANG Fei[1,2], GUO Shu-jiang[1,3], HAN Fu-gui[1,2], WANG Fang-lin[1,2], ZHANG Wei-xing[1], ZHANG Yu-nian[1,2]

(1. *Gansu Desert Control Resesrch Instiitute, Lanzhou* 730070, *Gansu, China;* 2. *State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei* 733000, *Gansu, China;* 3. *Gansu Minqin National Studies Station for Desert Steppe Ecosystem, Minqin* 733300, *Gansu, China*)

Abstract: Leaf water absorption strategy is of great ecological significance in arid areas, where the water input is dominated by small precipitation and condensate water. In this study, 20 desert plants were taken as the study object in Minqin.We measured LWUC, RW, WSD, SLA, and LDMC and analyzed the distribution characteristics of plant leaf traits and their correlation; the variation characteristics of leaf water uptake traits of small functional groups were compared. The results showed that (1) the leaves could absorb water and could make use of small precipitation. There were significant interspecific differences in leaf traits. (2) LWUC was significantly negatively correlated with LDMC (P<0.01), and RW was positively correlated with WSD (P<0.01). (3) There were no significant differences in LWUC, RW, and WSD of different plant growth forms (P>0.05). (4) There was a significant difference in LWUC among plants with different leaf textures (P<0.01); the succulents had significantly (P<0.05) higher LWUC than the herbaceous and coriaceous plants, and there was no significant difference between the succulents and the aphyllous plants. (5) There was no significant difference in LWUC between plants with different leaf surface traits (P>0.05), but the RW and WSD of tomentose leaves were significantly higher than those of smooth leaves (P<0.01). This study is expected to help better understand the water use manners and strategies of different functional plants in desert ecosystems and to improve our knowledge of ecological adaption strategies of desert plants and the changes of desert vegetation patterns to provide a scientific basis for their protection and restoration.

Key words: desert plants; small precipitation leaf water; uptake traits; Minqin